Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in feuchtheißem Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Samuel S. Brisbane
aus Royesville/Liberia

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0111

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in feuchtheißem Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Samuel S. Brisbane
aus Royesville/Liberia

1969

Vervielfältigt mit Unterstützung
des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. W. Graumann

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. W. Höfler
(Professor Dr. H.J. Knüttgen)

2. Berichterstatter: Professor Dr. H. Weichardt

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v.Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

EINLEITUNG 1

METHODE UND MATERIAL 2

BERECHNUNGEN 6

ERGEBNISSE 9

DISKUSSION DER ERGEBNISSE 14

LITERATURVERZEICHNIS..... 23

E I N L E I T U N G

Die physiologischen Prozesse bei der Hitzeakklimatisation sind in den letzten Jahren durch experimentelle Arbeiten in der Klimakammer, in trockenem Wüstenklima, und in natürlichem tropischem feuchtheißem Klima extensiv untersucht worden. Obwohl diese Vorgänge in den Hauptpunkten geklärt sind, bestehen immer noch Zweifel und Unklarheiten über die Bedeutung und den Sinn einiger dieser Vorgänge.

In einem heißen Klima ist der ganze Körper einer Stress-Situation unterworfen, mit der er fertig werden muß, wenn eine bestimmte physiologische Körpertemperatur aufrechterhalten werden soll. Dieser Gegenregulation dienen viele Funktionen, vor allem der Schweißapparat (KUNO). Es kommt bei jeder Hitzearbeit und -exposition zu einer überschüssigen Schweißbildung; es wird also mehr Schweiß gebildet als verdunsten kann. Man macht sich deshalb gelegentlich Gedanken darüber, ob diese große Schweißsekretion im Laufe einer Hitzeakklimatisation einen Sinn hat (LEHMANN, HENSEL). Im Rahmen der folgenden Arbeit werden Bedeutung und Nützlichkeit dieser Zunahme der Schweißbildung untersucht. Um diese Frage beantworten zu können, müßte man die tatsächlich verdunstete Schweißmenge kennen und ihre Beziehung zu der produzierten Schweißmenge untersuchen.

Die Gesamtschweißmenge läßt sich einfach durch Wiegen der Versuchsperson messen. Eine Schätzung der verdunsteten Schweißmenge kann durch eine Wärmebilanzrechnung versucht werden. Die so gewonnenen Werte lassen sich kontrollieren, wenn man bestimmt, welche Schweißmenge unter den Versuchsbedingungen (Klima und Hauttemperatur) maximal verdunsten kann.

METHODE UND MATERIAL

Der Versuch wurde in einer Klimakammer durchgeführt (Firma Meissner & Wurst, Stuttgart). Die Kammer ist 230 cm breit, 360 cm lang und 200 cm hoch. Während des Versuchs wurde sie von einer laminären Luftströmung durchzogen, die etwa 10 cm über dem Boden der Klimaanlage einströmte; sie zog zur gegenüberliegenden Wand, stieg dort zur Decke auf, strömte wieder zur Ausgangswand zurück und verließ die Klimakammer durch einen der Einstromöffnung entsprechenden Ausgang. Die Kammer wurde durch diesen Luftstrom befeuchtet und temperiert. In der Kammer befanden sich folgende Instrumente und Geräte:

a. Ein Fahrradergometer, auf dem die Versuchsperson während des Trainings und Hauptversuchs 40 Minuten lang pro Arbeitsphase zu fahren hatte.

b. Ein elektrischer Schrittmacher zur Kontrolle, damit die Versuchsperson eine regelmäßige Pedalgeschwindigkeit beim Fahren auf dem Fahrradergometer einhielt.

c. Eine Secca-Dezimalwaage

d. Ein trockenes und ein befeuchtetes, ventiliertes Widerstandsthermometer, die an einem außerhalb der Kammer befindlichen Zweifarbenschreiber angeschlossen waren, welcher die Trocken- und Feuchttemperaturen in der Kammer anzeigte.

e. Ein Fieberthermometer zur Messung der Rektaltemperatur.

f. Eine Sprechanlage, durch die man der Versuchsperson von außen Anweisungen gab.

g. Thermoelemente, die nach außen an einem Gerät der Elektrolaboratoriet Copenhagen Type TE 5 angeschlossen waren. Auf diesem Gerät wurden die Hauttemperaturen der verschiedenen Körperstellen abgelesen.

h. Blutdruckmanschette mit eingebautem Pulsmikrophon mit Anschluß nach außen an einem elektrischen Blutdruckapparat der Firma Elag, Köln.

i. Ein Fotoelement zur Messung der Pulsfrequenz, das nach außen an einem fotoelektrischen Pulszähler (Müller & Reeh, 1951) angeschlossen wurde.

j. Ein Liegestuhl zur Benutzung durch die Versuchsperson während der Ruheperioden.

k. Andere Materialien: - Durchsichtige Plastiksäcke zum Schweißsammeln, Becher und Meßzylinder, Trichter und Filterpapier, 18 plangeschliffene Plexiglasringe und Parafilm-"M"-Folie zur Bestimmung der lokalen Schweißsekretion. Einmalig gebrauchbare Blutabnahmekanüle (Fa. Pharma-Plast, Denmark) und eine Stopuhr.

Die Klimakammer ist so gebaut, daß man die Versuchsperson von einem Vorraum aus durch ein kleines, mit einer doppelten Glasscheibe wärmefest abgedichtetes Fenster gut beobachten und kontrollieren kann. Beim Versuch wurden die Messungen in diesem Vorraum vorgenommen.

Der ganze Versuch dauerte 4 Wochen und bestand aus einer Trainingsperiode von 8 Versuchstagen und einem Hauptversuch von 18 Tagen in der feuchtheißen Klimakammer. Die Versuchsperson war ein 27 Jahre alter, 174 cm großer, nicht hitzeakklimatisierter Mann mit 62,5 kg. Körpergewicht. Da kein Daueraufenthalt in der Kammer beabsichtigt worden war, wurde die Versuchsperson gebeten, möglichst keine überanstrengenden Tätigkeiten außerhalb der Versuchszeit und des Raumes zu unternehmen.

Der Versuch fing jeden Morgen gegen 8 Uhr nach dem Frühstück an. Nachdem die Versuchsperson sich eine Turnhose angezogen und sich die Füsse gewaschen hatte, wurden die Thermoelemente an der Brust, dem linken Handrücken und der linken Oberschenkelsstreckseite, das Fotoelement am linken Ohrläppchen und die Blutdruckmanschette am linken Oberarm so angelegt, daß sie beim Fahren auf dem Fahrradergometer richtig funktionierten. Der Tageslauf und die Messungen der beiden Versuchsphasen (Trainings- und Hauptversuchsphase) entsprachen einander mit dem Unterschied, daß während des Trainings keine Schweißsammlung und -verteilungsbestimmung durchgeführt wurden und die Raumtemperaturen niedriger als im Hauptversuch waren. Das Training erfolgte bei einer Trockentemperatur von 24 ^{o}C und einer Feuchttemperatur von 22 ^{o}C mit einer

relativen Feuchtigkeit von 75%. Beim Hauptversuch betrugen die Trockentemperatur 36,5 °C, die Feuchttemperatur 32 °C mit einer Effektivtemperatur von 33 °C und einer relativen Feuchtigkeit von 76%. Die Klimakammer wurde während der Hauptversuchstage Tag und Nacht durchgehend geheizt.

Jeder Versuchstag bestand aus einer Ruhezeit von 30 Minuten im Liegestuhl nach Anlegen der oben genannten Instrumente, gefolgt von drei Arbeitsphasen auf dem Fahrradergometer bei 7 mkp/sec. von je 40 Minuten Dauer und einer 15minütigen Ruheperiode nach jeder Arbeitsphase. Alle 5 Minuten wurden folgende Messungen durchgeführt:

a. Die Pulsfrequenz mittels des Fotoelements am linken Ohrläppchen. Sie wurde auf dem elektrischen Pulszähler abgelesen.

b. Die Rektaltemperatur wurde 3 Minuten lang am Anfang und am Ende jeder Ruhe- und Arbeitsperiode mit dem Fieberthermometer im Stehen gemessen.

c. Die Hauttemperatur an der Stirn, der Brust, dem linken Handrücken und der linken Oberschenkelstreckseite mit den Thermoelementen. Das Stirnthermoelement wurde nach Aufforderung von der Versuchsperson selbst aufgesetzt.

d. Der Blutdruck am linken Oberarm

e. Die Trocken- und Feuchttemperaturen in der Klimakammer mit dem Zweifarbenschreiber der Fa. Elektrogerät-Stuttgart.

f. Das Gewicht der Versuchsperson am Ende der 30minütigen Ruhe und am Ende jeder Arbeits- + 15minütigen Ruheperiode. Nach dem Wiegen wurde die Uhrzeit aufgeschrieben. Die Gewichtsdifferenz zwischen dem am Ende der 30minütigen Ruhe ermittelten Gewicht und dem Gewicht am Ende der Arbeits- + 15minütigen Ruheperiode wurde durch Trinken der gleichen Flüssigkeitsmenge (Coca-Cola) ausgeglichen. Die Gewichtsdifferenz wurde als produzierte Schweißmenge genommen.

g. Schweißsammlung vom rechten Unterarm und rechten Unterschenkel in der ersten und dritten Arbeitsperiode durch Anlegen der Plastiksäcke. Um sicher zu gehen,

wurden doppelte Säcke angebracht. Sie wurden erst am Ende der 15minütigen Ruhepause abgenommen. Die Schweißmenge in jedem Sack wurde im Meßzylinder abgemessen, filtriert und ein Teil zur Bestimmung von Natrium, Kalium und Chlor entnommen.

h. Schweißverteilungsbestimmung am Ende der dritten Arbeitsperiode an folgenden Körperstellen:

1. Stirn
2. Wange
3. Hals
4. Rechte Achselhöhle
5. + 6. Thorax links
7. Unterbauch
8. Re. Scapula
9. Oberarm
10. Sulcus bicip.
11. Unterarmaußenseite
12. Unterarminnenseite
13. Oberschenkelsstreckseite
14. Oberschenkelinnenseite
15. Oberschenkelhinterseite
16. Oberschenkelaußenseite
17. Unterschenkelaußenseite
18. Unterschenkelsstreckseite

An diesen Stellen wurde auch die Hauttemperatur bestimmt, und zwar vor dem Verschluß der Plexiglasringe. Die Plexiglasringe wurden in der oben angegebenen Reihenfolge einzeln fest angelegt und alle 20 Sekunden der Reihenfolge nach dicht mit Parafilm-"M"-Folie verschlossen. Die Verschlußdauer betrug 6 Minuten. Danach wurden sie in gleicher Reihenfolge alle 20 Sekunden geöffnet und mit der in den vorher genau abgewogenen, dicht verschlossenen Gläschen befindlichen Watte gut abgetupft; die Watte wurde sofort wieder in das zugehörige Gläschen gebracht und fest verschlossen.

i. Bestimmung des Gewichts der Versuchsperson vor und nach jeder Schweißverteilungsbestimmung

j. Am Ende des täglichen Versuchsprogramms mußte die Versuchsperson Urin lassen. Die Menge wurde abgemessen und ein Teil zur Natrium-, Kalium- und Chlorbestimmung entnommen.

k. An jedem 2. Versuchstag wurde Blut entnommen zur Bestimmung von Renin, Natrium, Kalium und Chlor. In ein Röhrchen mit 3 ml Heparin wurden 10 ml Blut für die Reninbestimmung, und in ein zweites Röhrchen wurden 10 ml Blut für die Natrium-, Kalium- und Chlorbestimmung abgefüllt. Diese Blutentnahme fand vor dem Beginn und am Ende des jeweiligen Versuchs statt.

B E R E C H N U N G E N

Für die Aufgabe dieser Arbeit, die Bestimmung der tatsächlich verdunsteten Schweißmenge, waren Rektaltemperatur, Hauttemperatur, Klima in der Kammer und produzierte Schweißmenge maßgebend, und nur diese Größen wurden bei den Rechnungen berücksichtigt. Die anderen Messungen und ihre Auswertung lassen sich aus der Dissertation von G. GAGE entnehmen.

BERECHNUNG der WÄRMESPEICHERUNG ΔH in Kcal/h

Zuerst wurde die Rektaltemperaturänderung (Korntemperatur) Δ RT pro Arbeitsstunde ermittelt. Da alle während der Arbeit gemessenen Körpertemperaturen um den annähernd gleichen Betrag anstiegen, wurde die Wärmespeicherung aus der Rektaltemperaturänderung ΔRT, die sich aus den Messungen zu Beginn der Ruhephase und am Ende der Arbeitsphase ergeben hatte, aus der spezifischen Wärme des Körpers von 0,83 und dem Körpergewicht der Versuchsperson berechnet. Also:

$$\Delta H = \Delta RT \times 0{,}83 \times 62{,}5 \text{ (Kcal/h)} \quad (+)$$

(+) = Nach Vorlesung von HÖFLER,
WS 67/68
"Physiologie Wärmer Länder"

BERECHNUNG der HAUT-, TROCKEN- und FEUCHT-TEMPERATUREN

Die Hauttemperatur T_H pro Arbeitsstunde (Arbeits- + Ruhephase) wurde folgenderweise berechnet: Zuerst wurde der einfache Mittelwert der verschiedenen Körperstellentemperaturen (Stirn, Brust, Handrücken und Oberschenkel) für alle 5 Minuten berechnet und aus allen diesen Mittelwerten ein Mittelwert genommen. Zur Berechnung der Trocken- und Feuchttemperatur wurde ebenfalls der einfache Mittelwert aller gemessenen Temperaturen pro Arbeitsstunde ermittelt. Die Differenz der Haut und Trockentemperaturen pro Arbeitsstunde wurde berechnet. Die entsprechenden relativen Feuchtigkeitswerte wurden auf einem psychrometrischen Diagramm abgelesen.

Der Wasserdampfdruck an der Hautoberfläche und in der Kammer (Luft) während jeder Arbeitsstunde wurde aus dem Sättigungsdampfdruck bei der betreffenden Temperatur und der relativen Feuchte ermittelt (Geigy-Tabellen).

BERECHNUNG des GESAMTSTOFFWECHSELS M

M = Grundumsatz + Arbeitsumsatz. Diese Größe war bei der Versuchsperson = 65 Kcal/h + 157 Kcal/h bei einem Wirkungsgrad von 25% (Standard von FLEISCH und von ROBERTSON-REID, Geigy-Tabellen). Also:

$M = 222$ Kcal/h

BERECHNUNG der WÄRMEABGABE bzw. -AUFNAHME durch CONVECTION und STRAHLUNG $Q_{c + s}$

Der Convectionswärmestrom Q_c ist nach CLIFFORD (1959) = 0,23 x Windgeschwindigkeit^{0,62} x der Differenz der Hauttemperatur und der Trockentemperatur der Luft in Kcal/h mal der Körperoberfläche in m^2. Also:

$Q_c = 0{,}23 \times Wind^{0{,}62} \times (T_H - T_L)$ Kcal/h

Für den Strahlungswärmestrom Q_s kann die einfache Temperaturdifferenz zwischen Haut und Kammerwand, in diesem Fall = Luft, eingesetzt werden. Mit der Annahme, daß 80% der Körperoberfläche am Strahlungswärmeaustausch teilnehmen (HÖFLER), ergibt sich eine fast gleiche Proportionalitätskonstante wie für den Convectionswärmestrom Q_c, so daß man hier die beiden Wärmeströme zusammenfassen kann zu:

Q_{c+s} = Summe der Konstanten x $(T_H - T_L)$ Kcal/h (HÖFLER, WS 67/68).

Q_c = 6,8 Kcal/h x ^oC

Q_s = 4,85 Kcal/h x ^oC x m^2. Bei 80% Körperoberflächenteilnahme am Wärmeaustausch ist Q_s ebenfalls = 6,8 Kcal/h x ^oC. Also:

$Q_{c+s} = 13{,}6 \times (T_H - T_L)$ Kcal/h.

BERECHNUNG der VERDUNSTETEN SCHWEIßMENGE Q_v

Diese Größe wurde aus der Wärmebilanzgleichung berechnet:

$Q_v = M \pm Q_{c+s} \pm \Delta H$ (Kcal/h) (HÖFLER, WS 67/68).

BERECHNUNG der VERDUNSTUNGSKAPAZITÄT C

Die Verdunstungskapazität ist die maximale Schweißmenge, die unter den jeweils gegebenen Versuchsbedingungen pro Zeiteinheit verdunsten kann. Da die verdunstbare Schweißmenge von der Windgeschwindigkeit und von dem Wasserdampfdruck auf der Hautoberfläche und in der Luft abhängt, ist die Verdunstungskapazität aus einer Verdunstungszahl K, der Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Hautoberfläche und Luft und der Körperoberfläche in m^2 zu berechnen:

$C = K (e_H - e_L)$ Kcal/h (HÖFLER, WS 67/68)

Die Verdunstungszahl K wurde von CLIFFORD u.a. bestimmt. K = 0,45 x Windgeschwindigkeit^{0,63} x Torr x m^2 (Kcal/h). Für e_{Haut} wurde unter den vorliegenden Versuchsbedingungen der Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur angenommen. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit (Luftbewegung) in unmittelbarer Nähe der Versuchsperson beim Radfahren war 0,5 m/sec. Bei einer Körperoberfläche von 1,75 m^2 ergibt sich für die Verdunstungskapazität C die Gleichung:

$$C = 14,3 (e_H - e_L) \text{ Kcal/h.}$$

C wurde noch mit einem Korrekturfaktor von 1,17 multipliziert. Diesen Faktor erhielt man aus dem Mittelwert aller zuerst berechneten Q_v/C, das definitionsgemäß nicht größer als 1,0 sein kann.

BERECHNUNG der PRODUZIERTEN SCHWEIßMENGE S in Kcal

Sie wurde aus der produzierten Schweißmenge in ml und der Verdunstungswärme berechnet:

Schweiß in ml x 0,58 = S in Kcal.

E R G E B N I S S E

DIE WÄRMESPEICHERUNG Δ H (Fig. 1)

Am Anfang des Hauptversuchs zeigte die Wärmespeicherung für die ersten drei Tage einen Anstieg von 94,4 Kcal/3h am ersten Tag, bis auf 125 Kcal/3h am dritten Hauptversuchstag. In den folgenden Versuchstagen nahm die Wärmespeicherung mit einer gewissen Unregelmäßigkeit ab; wie aus (Fig. 1) zu entnehmen ist, läßt sich dieser Abfall als lineare Funktion der Zeit darstellen: Sie fiel von 104 Kcal/3h auf 80 Kcal/3h ab ($P < 0,05$).

DIE WÄRMEABGABE bzw. -AUFNAHME durch CONVECTION und STRAHLUNG Q_{c+s} (Fig. 2)

Die Wärmeabgabe durch Convection und Strahlung wurde im Verlauf der Akklimatisation kleiner. Sie fiel von 22 Kcal/3h auf etwa 2 Kcal/3h ab ($P<0,05$). Wieder findet man eine Schwankung der verschiedenen Tageswerte.

DIE VERDUNSTUNGSWÄRMEABGABE Q_v (Fig. 3)

Die Verdunstungswärmeabgabe zeigte eine deutliche Zunahme im Verlauf der Akklimatisation. Sie stieg von etwa 540 Kcal/3h auf 600 Kcal/3h ($P<0,05$). Die Werte der zweiten und dritten Stunde nahmen auch linear zu ($P < 0,1$; $P < 0,05$), während die Werte der ersten Stunde wegen ihrer größeren Schwankungen keine signifikante Veränderung zeigten ($P > 0,1$).

DIE VERDUNSTUNGSKAPAZITÄT C (Fig. 4)

Die Verdunstungskapazität fiel während der Akklimatisation von 630 Kcal/3h auf 560 Kcal/3h ab ($P < 0,01$). Die Werte der zweiten und dritten Arbeitsstunden fielen ebenfalls linear ab ($P < 0,01$; $P < 0,05$). Die Ergebnisse der ersten Arbeitsstunde zeigten nur einen geringgradigen Abfall.

DIE PRODUZIERTE SCHWEIßMENGE S in Kcal (Fig. 5 und 6)

Für die ersten sechs Versuchstage lag der Durchschnitt der abgegebenen Schweißmenge in Kcal umgerechnet bei etwa 1200 Kcal/3h. Vom 7. - 18. Versuchstag stieg sie mit einer gewissen Schwankung fast linear. Im ganzen erfuhr die produzierte Schweißmenge einen linearen Anstieg von etwa 1166 Kcal/3h auf 1650 Kcal/3h ($P < 0,01$).

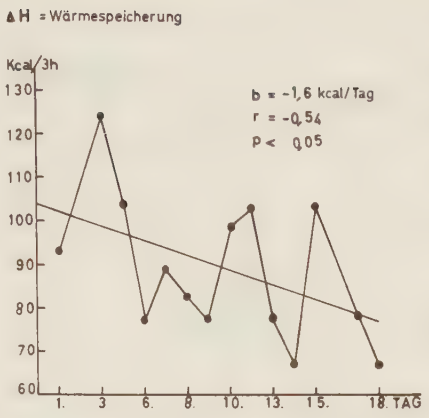


Fig. 1

Das Verhalten der Wärmespeicherung im Verlauf des Versuchs

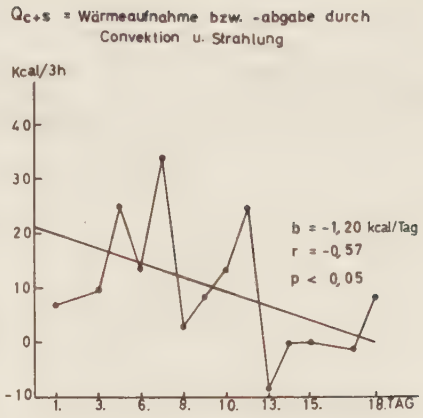


Fig. 2

Verhalten der Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Convection und Strahlung im Verlauf des Versuchs

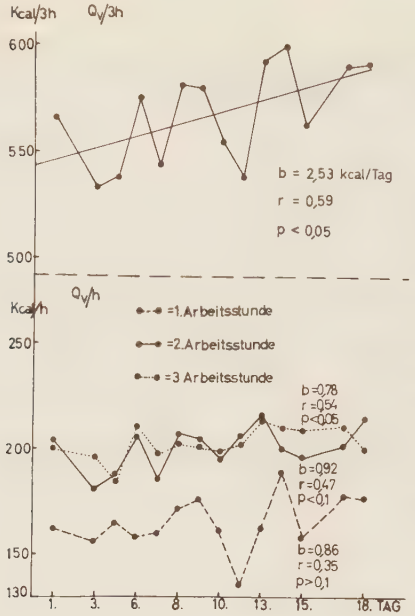


Fig. 3

Verhalten der Verdunstungswärmeabgabe im Verlauf des Versuchs

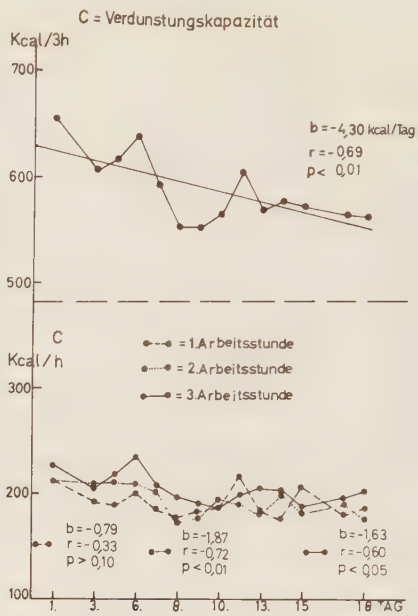


Fig. 4

Verhalten der Verdunstungskapazität während des Versuchs

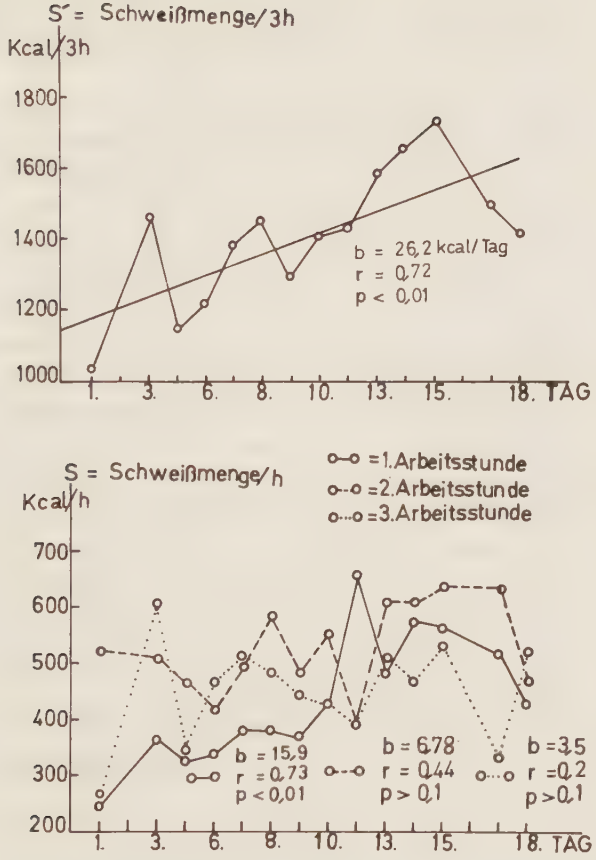


Fig. 5 und 6
Verhalten der produzierten Schweißmenge in Kcal pro Arbeitstag bzw. -stunde

ERKLÄRUNG zu den FIGUREN

b = Steigungsmaß
r = Linearer Korrelationskoeffizient
p = Zufallswahrscheinlichkeit

Tab. A

Tag	Rektaltemperatur-Änderung in °C		Hauttemperatur-Änderung in °C		Schweißmenge in ml/3h
	Anfang der 1. Arbeit	Ende der 3. Arbeit	Anfang der 1. Arbeit	Ende der 3. Arbeit	
1.	37,0	38,8	36,3	37,1	1776
3.	36,8	39,2	36,2	37,5	2551
4.	37,0	39,0	36,0	37,3	1954
6.	37,1	38,6	36,6	37,2	2097
7.	36,8	38,5	36,2	37,0	2391
8.	36,9	38,5	36,1	36,7	2497
9.	36,9	38,4	35,8	36,7	2258
10.	36,8	38,7	35,7	36,7	2621
11.	36,8	38,8	36,2	36,9	2474
13.	36,9	38,5	35,9	36,3	2756
14.	37,3	38,6	35,7	36,4	2855
15.	36,8	38,8	35,9	36,5	3000
17.	36,8	38,3	35,9	36,5	2577
18.	36,9	38,2	35,7	36,5	2460

D I S K U S S I O N der E R G E B N I S S E

Um zu beurteilen, ob eine Hitzeakklimatisation während dieses Versuchs erfolgte, muß das Verhalten der Wärmespeicherung ΔH untersucht werden. Die Wärmespeicherung war während der ersten drei Tage des Hauptversuchs sehr hoch; es kam also zu einer erheblichen Wärmestauung. Die Rektaltemperaturänderung zeigte ihren höchsten Wert nämlich innerhalb dieser Zeitspanne. Sie stieg von 36,8 °C bis auf 39,2 °C am Ende der dritten

Arbeitsphase des dritten Versuchstags; am sechsten Tag jedoch war sie nur bis 38,6 °C gestiegen, also um 0,6 °C niedriger, und am 18. Tag betrug sie nur noch 38,2 °C (Tab. A).

Diese Abnahme der Rektaltemperatur (Kerntemperatur) von 39,2 °C auf 38,2 °C und der damit verbundene Abfall der Wärmespeicherung ΔH von 104 Kcal/3h auf 80 Kcal/3h beweisen eine deutlich feststellbare Hitzeakklimatisation im Verlauf des Versuchs. Ähnliche Ergebnisse erzielten andere Untersucher: ROBINSON e. al. fanden im Verlauf ihrer Untersuchung einen Rektaltemperaturabfall von 103,4 auf 101,7 °F. Bei einem 72tägigen Selbstversuch in einem natürlichen tropischen Klima (Nigeria) stellte HÖFLER einen Abfall der Kerntemperatur (Trommelfell und Mund) um 0,7 °C fest. In einem dreiwöchigen Daueraufenthalt-Klimakammerversuch beobachte auch SCHMOLL einen Abfall der am Anfang hohen Kerntemperatur (Mundtemperatur). Die bis zum sechsten Tag gemessene hohe Mundtemperatur während der Vor- und Nachmittagsarbeit von 38,4 bzw. 38,8 °C erfuhr einen Abfall bis zum 21. Tag auf 37,2 °C. Vergleicht man diese Resultate mit denen der vorliegenden Arbeit in Bezug auf den Wärmespeicherungsabfall, so ist auch in diesem Versuch eine erfolgreiche Hitzeakklimatisation eingetreten. Wie kam es nun zu dieser Hitzeakklimatisation? Um diese Frage genauer beantworten zu können, müssen die verschiedenen Wärmeaustauschwege betrachtet und untersucht werden.

Die Wärmeabgabe durch Convection und Strahlung Q_{c+s} nahm linear ab. Der Grund dafür ist der Abfall der Hauttemperatur im Verlauf des Versuchs, ein Abfall, der zu einer Verkleinerung der Differenz zwischen Haut- und Lufttemperatur führte. Die Hauttemperatur, die am dritten Versuchstag bis auf 37,5 °C am Ende der dritten Arbeitsphase angestiegen war, zeigte später eine deutliche Abnahme: am 9. Tag betrug sie 36,7 °C, am 18. Tag war sie nur noch 36,5 °C (Tab. A). Eine Erklärung für dieses Verhalten der

Hauttemperatur findet man im Ablauf der Schweißproduktion. Zu Beginn des Akklimatisationsprozesses war die Schweißproduktion nicht groß genug, um den erforderlichen evaporativen Kühleffekt der Hautoberfläche zu gewährleisten; dadurch kam es zu einem Anstieg der Hauttemperatur. Mit Zunahme der Schweißproduktion und der damit verbundenen Steigerung der Verdunstung kam es zum Absinken der Hauttemperatur. Aus dem Verhalten von $Q_{c + s}$ kann mit Sicherheit geschlossen werden, daß die Abnahme der Wärmespeicherung bei der stattgefundenen Hitzeakklimatisation nicht durch eine größere Wärmeabgabe durch Convection und Strahlung bedingt ist.

Die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung von der Hautoberfläche Q_v zeigte eine lineare Zunahme. Die Schweißverdunstung stellt einen entscheidenden Faktor für die Wärmeabgabe bei Hitzearbeit und Hitzeakklimatisation dar; ihre Steigerung bedeutet für den Körper eine günstigere Lage der Wärmebilanz. Obwohl diese Zunahme in dem Versuch nicht sehr beträchtlich war, zeigte es sich doch, daß der größte Teil der Wärmeabgabe im Verlauf der hier stattgefundenen Hitzeakklimatisation durch die Verdunstung verursacht wurde. Vor weiteren Erörterungen über die Verdunstungswärmeabgabe wird ein kurzer Blick auf das Verhalten der Verdunstungskapazität C geworfen.

Die Verdunstungskapazität erfuhr einen Abfall, der sich durch die Abnahme der Hauttemperatur erklären läßt. Die Abnahme der Hauttemperatur ist, wie schon oben gesagt, durch den evaporativen Kühleffekt der gesteigerten Verdunstungswärmeabgabe bedingt. Unter Hitzebelastung bedeutet ein Abfall der Verdunstungskapazität eine ungünstige Verdunstungsbedingung, d. h. eine Erschwerung der Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung, welche zu einem Abfall der Verdunstungswärmeabgabe führen müßte. Worauf aber ist die Zunahme der Verdunstungswärmeabgabe trotz Abnahme der Verdunstungskapazität zurückzuführen? Um diese Frage zu beantworten, müssen die produzierte Schweißmenge S, das

Verhältnis der produzierten Schweißmenge in Kcal zu der Verdunstungskapazität S/C und das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zu der Verdunstungswärmeabgabe S/Q_v untersucht werden.

Die tatsächliche produzierte Schweißmenge zeigte einen deutlichen Anstieg. Während sie am ersten Versuchstag nur 1776 ml/3h betrug, war sie am neunten Tag auf 2258 ml/3h und am 15. Tag auf 3000 ml/3h angestiegen, also auf fast das Doppelte wie am ersten Tag (Tab. A). Die Steigerung der Schweißproduktion läßt sich bei allen Hitzeakklimatisationsprozessen feststellen, sei es bei Versuchen in der Klimakammer oder in natürlichem tropischem Klima. Von ROBINSON wurde ein Anstieg der Schweißbildung von 0,1 - 1,3 $kg/m^2/h$ beobachtet. LADELL beobachtete bei seinen Versuchen in Nigeria ebenfalls eine Zunahme der Schweißbildung von 1100 g am ersten Tag auf 1560 g am neunten Tag. Er stellte eine 2-3fach höhere Schweißproduktion bei akklimatisierten Versuchspersonen fest, und nach Ablauf der Akklimatisation lag die abgegebene Schweißmenge so weit über dem Wert des ersten Tages, daß es zum Abtropfen des Schweißes kam. HORVATH und SHELLEY fanden bei ihrem Hitze-Trainingsversuch mit 16 Soldaten einen durchschnittlichen Anstieg der Schweißmenge von 1,55 kg/h auf 2,15 kg/h. SCHMOLL stellte etwa eine Verdoppelung der Schweißmenge am 15. Versuchstag fest, und zwar von 240 ml/h auf 476 ml/h. HÖFLER beobachtete in seinen Versuchen in Abeokuta/Nigeria, daß die Schweißproduktion in den ersten 10 bis 20 Tagen zunahm. Auch MACPHERSON e. al. stellten bei einem 22wöchigen Versuch in Singapore eine Steigerung der Schweißproduktion bis nach der zweiten Woche fest. LAASER und LADIPOH beobachteten bei ihrem Klimakammerversuch mit Daueraufenthalt eine Verdoppelung der Schweißproduktion.

Das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungskapazität S/C steigt von 1,82 auf 3,0. Dieser Anstieg ist nicht nur durch den Abfall der Verdunstungskapazität bedingt, sondern er ist vor allem auf die vorher

erwähnte Steigerung der produzierten Schweißmenge zurückzuführen. Genauso steigt das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungswärmeabgabe S/Q_V von 2,1 auf 2,9 (Fig. 7 und 8). Welche Funktion jedoch erfüllt die Schweißbildung, vor allem deren Zunahme bei Hitzearbeit bzw. Hitzebelastung und bei der Akklimatisation in einem feuchtheißen Klima? KUNO schreibt, daß beim Menschen die Regulation gegen die Belastung des Körpers durch eine heiße Umgebung zum größten Teil durch Schwitzen gewährleistet sei, wobei die adaptiven Veränderungen des Schweißapparats von großer Wichtigkeit seien. Er drückt diese Funktion deutlicher aus, wenn er sagt, daß die Aufgabe der Schweißbildung die Regulation der Körpertemperatur durch Abgabe von Wärme sei.

Aus dem vorliegenden Versuch und denen vieler anderer (KUNO, HORVATH e. al. 1946, LADELL 1951, WINSLOW a. HERRINGTON 1949, LEHMANN, HÖFLER 1966) geht hervor, daß im Verlauf einer Hitzeakklimatisation oder Hitzebelastung der größte Anteil der abgegebenen Wärme zu Lasten der Verdunstungswärmeabgabe geht. Dies setzt eine Steigerung der produzierten Schweißmenge voraus, um die Zunahme der Verdunstungswärmeabgabe zu fördern ("adaptive Veränderungen des Schweißapparats", KUNO 1965). Man könnte nun annehmen, daß eine steigende Schweißsekretion mit einer gleich großen Zunahme der Verdunstungswärmeabgabe gekoppelt ist, daß also das Verhältnis S/Q_V immer = 1 wäre. Es wird jedoch beobachtet, daß die produzierte Schweißmenge größer als die verdunstete Schweißmenge ist, so daß es sogar zum Abtropfen vom Schweiß kommt. KERSLAKE kam aus Modellversuchen zu dem Schluß, daß das Schweißabtropfen bei einer laminären Windströmung schon beginne, wenn die Schweißproduktion etwa 1/3 der maximalen Schweißverdunstung (Verdunstungskapazität) betrage, während es bei turbulenter Windströmung erst bei höherer Schweißproduktion einsetze. Die Bedeutung und Nützlichkeit dieses Verhaltens der Schweißbildung besonders bei der Hitzeakklimatisation

in einem feuchtheißen Klima läßt sich erklären, wenn man die Beziehungen der Größen Q_v/C, S/C und S/Q_v betrachtet.

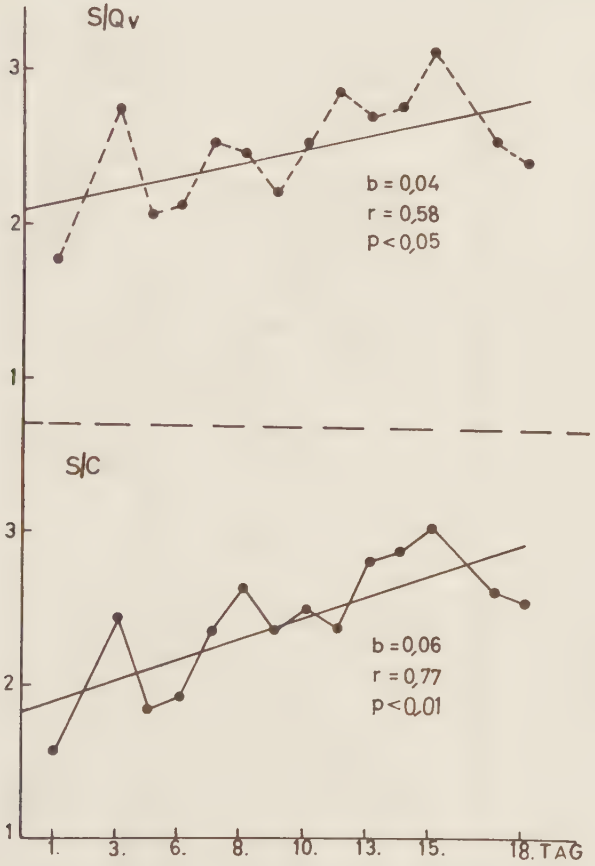
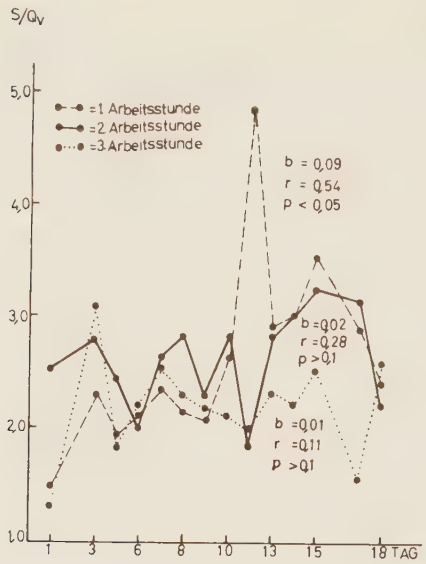


Fig. 7
Das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungswärmeabgabe und das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungskapazität im Verlauf des Versuchs.



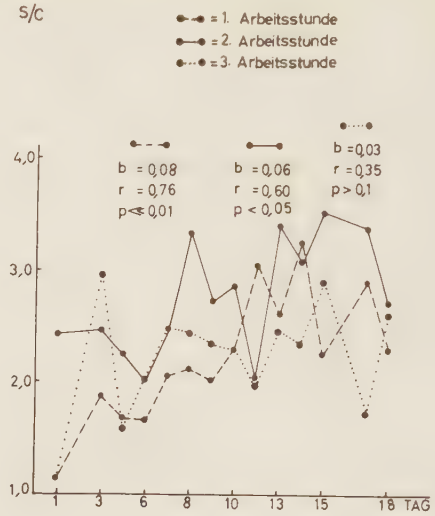


Fig. 8

Das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungswärmeabgabe

Das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungskapazität

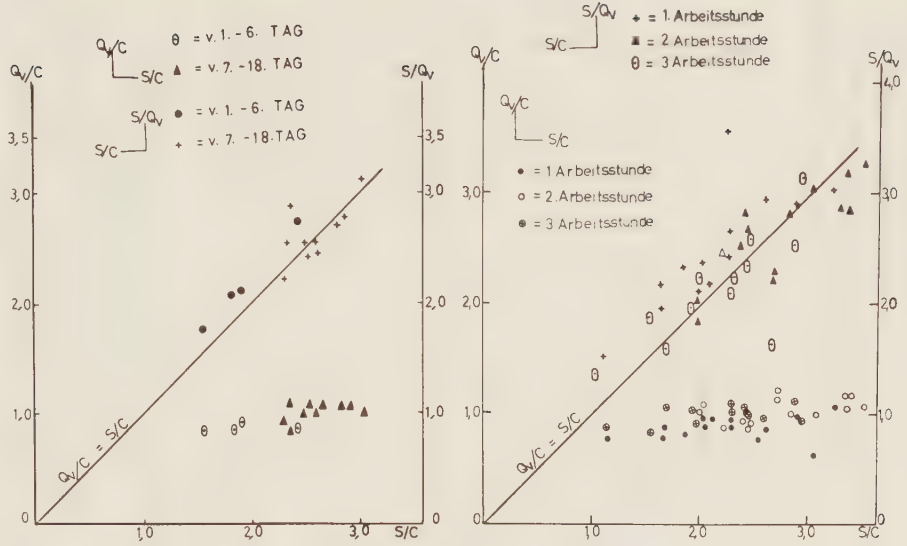


Fig. 9 und 10

Beziehungen der Größen Q_v/C, S/C und S/Q_v:
Links: Werte für 1. - 3. Stunde
Rechts: Werte der einzelnen Stunden

Untersucht man im vorliegenden Versuch die Beziehungen dieser Größen zueinander, so findet man daß im noch unakklimatisierten Zustand in den ersten sechs Tagen Q_v/C etwa 0,9 beträgt, während zum gleichen Zeitpunkt S/C 1,8 und S/Q_v 2,2 betragen. Vom 7. - 18. Versuchstag zeigen diese Verhältnisse eine Steigerung. Q_v/C erreicht das Maximum von 1,0, S/C steigt bis auf 2,6 und S/Q_v beträgt 2,8 (Fig. 9 und 10).

In den ersten sechs Tagen konnte die volle Verdunstungskapazität C nicht ausgenutzt werden ($Q_v/C \leqq 0,9$), da offenbar nicht die Schweißmenge produziert wurde, die zu einer völligen Wasserbedeckung der Hautoberfläche (full wetness, KERSLAKE) ausgereicht hätte, wodurch die ganze Verdunstungskapazität hätte ausgenutzt werden können ($S/C = 1,8$; $S/Q_v = 2,2$). Diese Bedingung wurde erst erreicht, als S/C und S/Q_v weit über 2,2 lagen; sie entwickelte sich erst vom 7. - 18. Tag mit Zunahme der Schweißbildung (siehe Fig. 5 und 6, Tab. A, und Fig. 7). Es wurde jetzt mehr als doppelt soviel Schweiß gebildet als verdunsten konnte, und die Hautoberfläche war nun von einem Wasserfilm bedeckt, d. h. die Feuchtigkeit auf der Hautoberfläche betrug jetzt 100%, sodaß nun die ganze Verdunstungskapazität ausgenutzt werden konnte. Im Modellversuch von KERSLAKE wurde das erst erreicht, wenn S/C bzw. S/Q_v mindestens 2,0 war.

Diese Ergebnisse zeigen also, daß die Zunahme der Schweißproduktion, auch in einem feuchtheißen Klima, in dem schon der Nichtakklimatisierte mehr schwitzt als er verdunstet, ein sinnvoller und wirksamer Vorgang ist, da er zu einer Verbesserung der Verdunstungswärmeabgabe führt.

LITERATURVERZEICHNIS

1. CLIFFORD, I., KERSLAKE, D. Mck., and WADELL, I. L.: The Effects of Wind Speed on Maximum Evaporation Capacity in Man. J. Physiol. London, 147, 253 (1959)
2. HÖFLER, W.: Verhalten der Schweißsekretion bei der Akklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 317-326 (1966)
3. HORVATH, S.M., W.B. SHELLEY: Acclimatization to extreme Heat and its Effect on the Ability to work in less severe Environment. Amer. J. Physiol. 146 (1946), 336
4. KERSLAKE, M. Mck.: Errors Arising from the Use of Mean Heat Exchange Coefficients in the Calculation of the Heat Exchange of a Cylindrical Body in Transverse Wind. In: Temp. Meas. Contr. Sc. Ind. New York, Reinhold (1963)
5. KUNO, Y.: The Physiology of Human Perspiration London, Churchill (1965)
6. LAASER, U., J. LADIPOH: Dissertationen, Tübingen 1968
7. LADELL, W.S.S.: Assessment of Group Acclimatization to Heat and Humidity. J. Physiol. (1951), 296
8. LEHMANN, G.: Die Arbeitsfähigkeit des Menschen im tropischen Klima. Heft Nr. 144, Köln-Opladen (1965)
9. MACPHERSON, R.K. et al: Physiological Response to Hot Environment. Med. Res. Counc. Spec. Rep. Ser. No. 298, London 1960
10. ROBINSON, S., E.S. TURELL, H.S. BELDING, S.M. HORVATH: Rapid Acclimatization to work in hot Climates. Amer. J. Physiol. 140 (1943), 168
11. SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheißen Klima. Dissertation, Tübingen 1966.

Herrn Dozent Dr. W. Höfler danke ich sehr dafür, daß er mir das Thema zu dieser Arbeit gegeben und mich bei deren Ausführung unterstützt hat.

Dem Direktor des Tropenmedizinischen Instituts der Universität Tübingen Herrn Professor Dr. H. J. Knüttgen spreche ich meinen Dank aus für die Möglichkeit, in seinem Institut arbeiten zu dürfen.

Bei Fräulein I. Hermann bedanke ich mich für ihre Hilfe bei den Experimenten und für die Anfertigung der Fotografien zu den Figuren.

L E B E N S L A U F

Am 29. Juli 1940 wurde ich, Samuel S. Brisbane, in Royesville/Liberia geboren.

Ich besuchte die folgenden Schulen:

vom 15. 2. 1947 - 19. 11. 1954 Government Elementary School in Brewerville

vom 15. 2. 1955 - 20. 11. 1958 College of West Africa (High School)

vom Februar 1959 - 30. Juli 1961 University of Liberia.

Vom 2. Januar bis 30. April 1962 erlernte ich die deutsche Sprache im Goethe Institut Ebersberg bei München, um mich anschließend auf der Universität Tübingen immatrikulieren zu können; hier studiere ich seit dem Sommersemester 1962 Medizin.
Am 14. Februar 1969 beendete ich mein Studium mit dem medizinischen Staatsexamen.